

ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ОБЛУЧАТЕЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ГАММА-УСТАНОВКИ

*Демьянов Сергей Александрович (otd4@expd.vniief.ru), Валежжанина Елена Ивановна,
Машагин Андрей Владимирович, Опёнышев Павел Владимирович,
Попикова Ксения Александровна*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Для обеспечения испытаний электронной компонентной базы (ЭКБ) на стойкость к воздействию ионизирующего излучения космического пространства в ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» ведутся работы по созданию синхротронного комплекса. Одной из установок комплекса является гамма-установка (ГУ) на основе закрытого радионуклидного источника (ЗРИ)⁶⁰Co. Данная установка разрабатывается в двух конструктивных исполнениях: низкой и средней интенсивностей.

В работе представлены результаты расчета мощности дозы на расстоянии 1 м от составных частей ГУ и за стеной зала дозовых облучений. Рассчитана карта радиационных полей в зале дозовых облучений.

Приведены результаты расчета пространственного распределения мощности дозы и неоднородности поля излучения в предполагаемом месте расположения ЭКБ.

Ключевые слова: гамма-установка, закрытый радионуклидный источник излучения, кобальт-60, биологическая защита, мощность экспозиционной дозы.

INVESTIGATIONS OF RADIATION SAFETY AND IRRADIATION POTENTIALITIES OF GAMMA-PLANT

*Demyanov Sergey Aleksandrovich, Valekzhanina Yelena Ivanovna, Mashagin Andrey Vladimirovich,
Opionyshev Pavel Vladimirovich, Popikova Kseniya Aleksandrovna*

FSUE «RFNC-VNIIEF», Sarov Nizhny Novgorod region

To provide testing of electronic component base (EhKB) resistance against the cosmic spaceionizing radiation there are carried out in FSUE «RFNC-VNIIEF» the works on the creation of synchrotron complex (SK). One of SK facilities is gamma – plant (GU) based on a sealed radionuclide source (ZRI) of ⁶⁰Co. The given plant is being developed in two embodiments: low and average intensities (GU NI and GU SI, correspondingly).

In the paper there are presented the results of dose rate calculation at a distance of 1 m from the GU components and beyond the wall of the experimental hall. The map of radiation fields in the experimental hall is calculated.

The calculation results of dose rate distribution in space and radiation field nonuniformity in the assumed location of EhKB are given.

Keywords: gamma-plant, sealed radionuclide source, cobalt-60, biological shielding, exposure rate.

Введение

ГУ на основе закрытых изотопных источников является составной частью синхротронного комплекса, предназначенного для обеспечения испыта-

ний ЭКБ на стойкость к действию ионизирующих излучений космического пространства.

ГУ предназначена для проведения испытаний изделий ЭКБ на дозовое воздействие при низких (0,01–10 Р/с) интенсивностях (ГУ НИ) и средних

(10–300 P/c) интенсивностях (ГУ СИ) γ -излучения космического пространства.

В качестве источника γ -излучения планируется использовать 6 ЗРИ на основе ^{60}Co типа ГИК-9-4, произведенных ФГУП «ПО «МАЯК». Источник ГИК-9-4 представляет собой двойную капсулу из коррозионно-стойкой стали с активной частью (рис. 1).

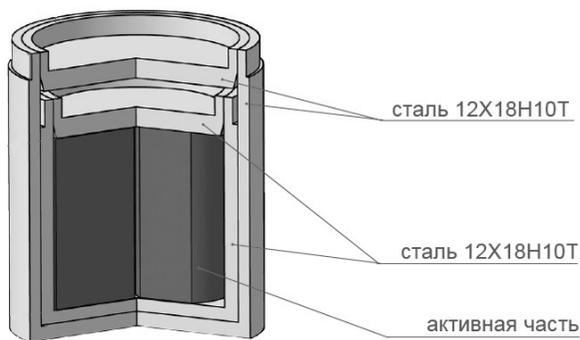


Рис. 1. Источник ионизирующего излучения типа ГИК-9-4

Суммарная активность источников излучения для ГУ СИ составит ≈ 54 кКи. Период полураспада ^{60}Co – 5,27 лет [1]. По истечении 5 лет эксплуатации, когда активность источников уменьшится в два раза, в ГУ СИ будет проводиться замена источников на новые. Отработавшие в ГУ СИ источники будут перемещены в ГУ НИ, их суммарная активность на момент перемещения составит ≈ 28 кКи. Таким образом, каждые 5 лет будет обеспечено обновление источников в обеих ГУ.

ГУ располагается в зале дозовых облучений согласно рис. 2.

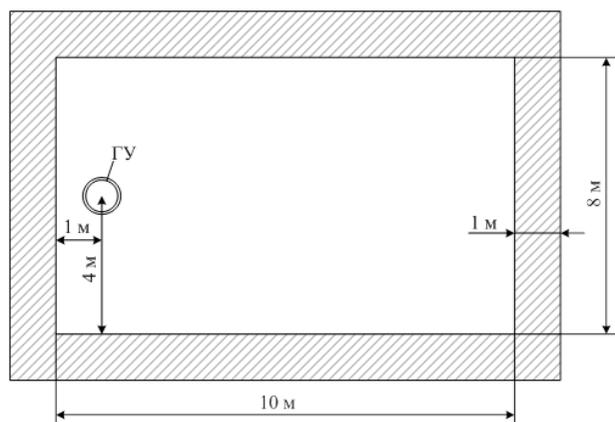


Рис. 2. Схема расположения ГУ в зале дозовых облучений (вид сверху)

Для обоснования радиационной безопасности ГУ СИ проведены расчеты мощности эквивалентной дозы на расстоянии 1 м от составных частей установки в исходном положении, а также за стеной напротив ЗРИ в рабочем положении (исходное и рабо-

чее положения установки представлены в следующем разделе). Поскольку устройство ГУ СИ и ГУ НИ одинаково, а также залы дозовых облучений идентичны, то результаты, полученные для ГУ СИ, могут быть использованы для обоснования безопасности ГУ НИ.

При проведении испытаний ЭКБ на дозовое воздействие необходимы знания о распределении мощности дозы. С этой целью проведены расчеты пространственного распределения мощности экспозиционной дозы и неоднородности поля излучения в предполагаемой области расположения ЭКБ.

Расчеты проведены в программном комплексе С-007 [2], предназначенном для моделирования переноса нейтронов, γ -квантов, электронов и позитронов методом Монте-Карло в трехмерной геометрии.

Описание ГУ

ГУ средней и низкой интенсивности имеют одинаковое устройство.

В общем виде ГУ состоит из следующих элементов:

- источник ионизирующего излучения;
- блок защиты;
- стенд электромеханический;
- автоматизированная система управления и контроля ГУ.

ЗРИ размещены определенным образом внутри кассеты, внешний вид которой представлен на рис. 3.

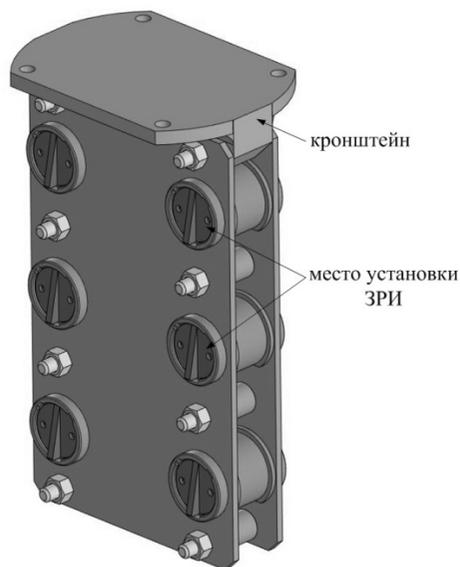


Рис. 3. Кассета с ЗРИ

В качестве блока защиты используется контейнер защитный КТИ-160000/4300, разработанный и применяемый в ФГУП «ПО «Маяк», из состава комплекта упаковочного транспортного УКТ1В-160000/4300 [3].

Контейнер защитный КТИ-160000/4300 представляет собой металлоконструкцию, состоящую из пробки и контейнера (рис. 4). Пробка 1 крепится к контейнеру 2 с помощью восьми гаек.

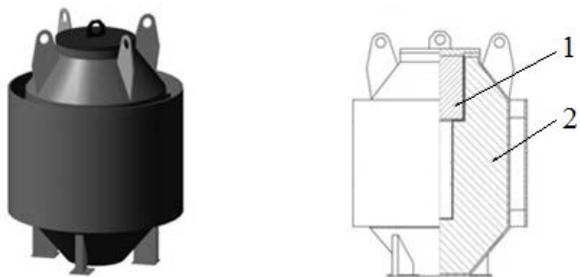


Рис. 4. Общий вид контейнера защитного КТИ-160000/4300:
1 – пробка, 2 – контейнер

Пробка 1 представляет собой сварную герметичную конструкцию, состоящую из крышки со стаканом и радиационной защиты, находящейся внутри. Сверху крышки имеется строповое устройство для извлечения пробки из контейнера и установки ее обратно.

Контейнер 2 представляет собой сварной герметичный цилиндр, состоящий из внешней облицовки, радиационной защиты и внутреннего стакана (гнезда контейнера). На внешней облицовке имеются четыре

ребра с отверстиями, предназначенные для захвата контейнера грузоподъемными механизмами.

Стенд электромеханический представляет собой рамную конструкцию с установленным на ней приводом перемещения источника. На рис. 5 представлен общий вид ГУ в закрытом и рабочем положениях. Пробка с закрепленной на ней кассетой соединена жесткой связью с приводом перемещения источника, за счет которого имеет возможность вертикального перемещения соосно контейнеру на высоту не менее 500 мм. В дальнейшем изложении под «пробкой» будет подразумеваться узел ГУ, состоящий из следующих связанных элементов: пробки, кассеты и ЗРИ.

В исходном положении ГУ пробка плотно прилегает к верхней плоскости контейнера (рис. 5, а).

В рабочем положении ГУ пробка смещена на высоту 150 см от уровня пола (рис. 5, б).

Результаты расчетов по обоснованию радиационной безопасности ГУ СИ

Результаты расчета мощности эквивалентной и экспозиционной доз для исходного положения ГУ СИ, при котором кассета с 6-ю ЗРИ располагается в гнезде контейнера, а пробка плотно прилегает к верхней плоскости контейнера, представлены в таблице.

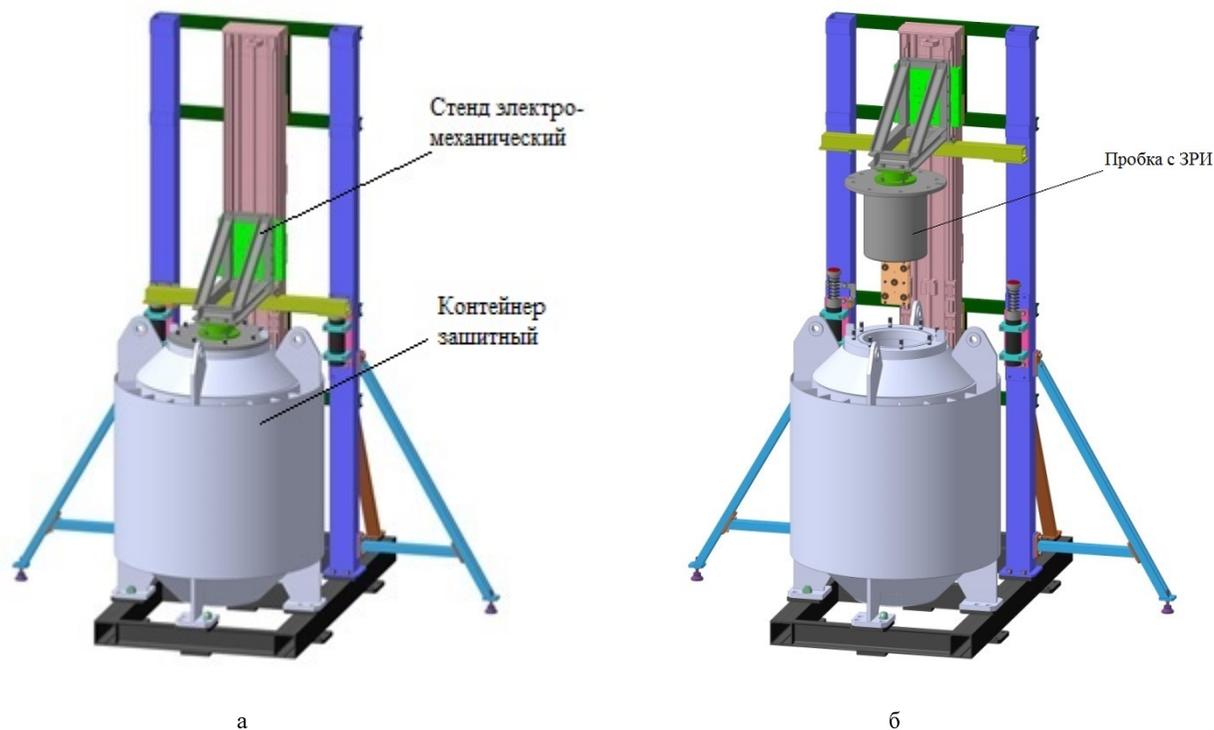


Рис. 5. Общий вид ГУ: а – исходное положение, б – рабочее положение

	Поверхность контейнера			1 м от поверхности контейнера	
	верх	бок	дно	верх	бок
Мощность эквивалентной дозы, мкЗв/ч	41,9	155,1	3,9	11,2	9,4

Расчитанные значения мощности эквивалентной дозы на расстоянии 100 см от поверхности контейнера КТИ-160000/4300 при загрузке в него ≈ 54 кКи изотопа ^{60}Co удовлетворяют требованию п. 3.7.6 ОСПОРБ 99/2010 для стационарных установок, действие которых основано на использовании ЗРИ (не более 20 мкЗв/ч).

Проведен расчет распределения мощности экспозиционной дозы в облучательном зале при рабочем положении установки. Для примера на рис. 6 представлено распределение мощности экспозиционной дозы в горизонтальной плоскости на уровне расположения центральных ЗРИ. Для удобства визуализации распределение представлено в виде приведенного десятичного логарифма от мощности дозы.

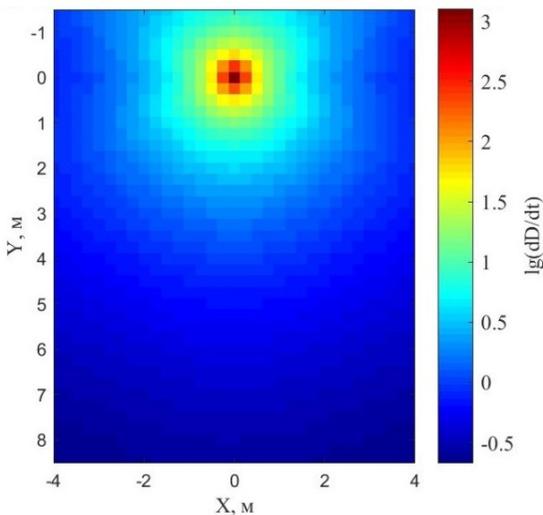


Рис. 6. Распределение мощности экспозиционной дозы в облучательном зале на высоте расположения центральных ЗРИ в рабочем положении ГУ СИ

Для оценки безопасности персонала группы А за стенами облучательного зала ГУ СИ проведена оценка кратности ослабления дозы γ -излучения моделированием в С-007[4]. При расчетах толщина стен принималась 100 см.

Для определения кратности ослабления γ -излучения в бетонной стене с помощью моделирования проведен расчет мощности дозы за ближайшей стеной на высоте кассеты с ЗРИ при рабочем положении ГУ и на таком же расстоянии от источника без стены. Мощность эквивалентной дозы без стены

составила 64 Зв/ч, за стеной – 3 мЗв/ч. Таким образом, кратность ослабления – $2,1 \cdot 10^4$.

Согласно требованиям НРБ-99/2009, мощность эквивалентной дозы за стеной помещения с установкой для персонала группы А должна быть не более 11 мкЗв/ч. Для стены толщиной 100 см мощность эквивалентной дозы за стеной превышает разрешенное значение в 272 раза. По предварительным оценкам, для удовлетворения требованиям НРБ-99/2009 толщина стены из обычного бетона должна быть не менее 150 см.

Результаты расчета пространственного распределения мощности экспозиционной дозы и неравномерности поля излучения ГУ СИ

Расчет пространственного распределения мощности экспозиционной дозы и неоднородности поля излучения ГУ СИ проведен в расчетной области, расположенной согласно рис. 7. Расчетная область размерами $100 \times 100 \times 110$ см разбита плоскостями с шагом 10 см.

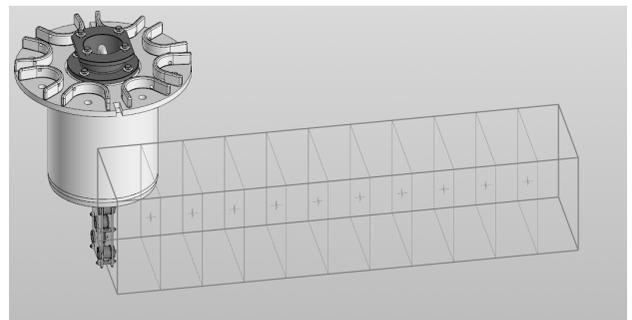
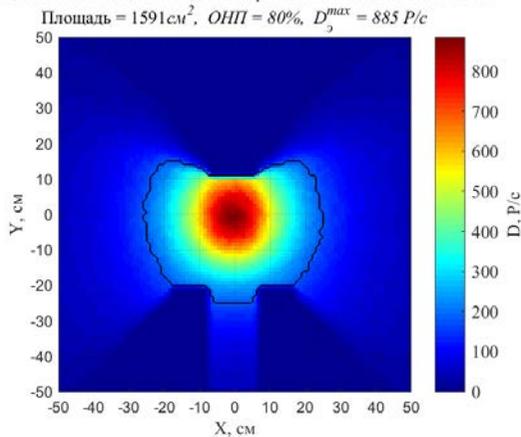


Рис. 7. Разбиение расчетной области

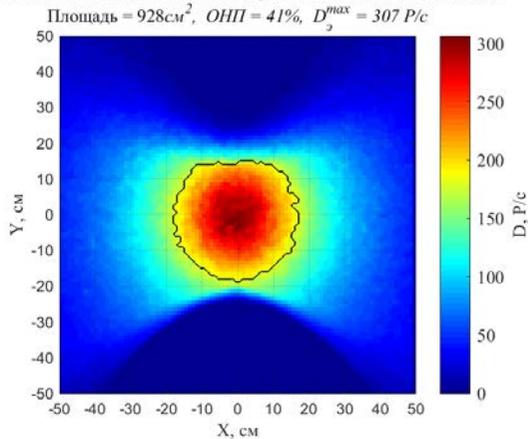
Результаты расчета пространственного распределения мощности экспозиционной дозы на расстояниях 10, 20, 50 и 100 см с указанием ее максимального значения представлены на рис. 8. Поскольку мощность дозы вычислялась в воздухе, в области расположения защитного контейнера и пробки нулевые значения.

ГУ СИ должна обеспечивать на поверхности площадью 600 см^2 мощность дозы не менее 180 Р/с с неоднородностью поля излучения 30 %. На изображениях, соответствующих расстояниям 10 и 20 см, черным выделены области, где мощность дозы

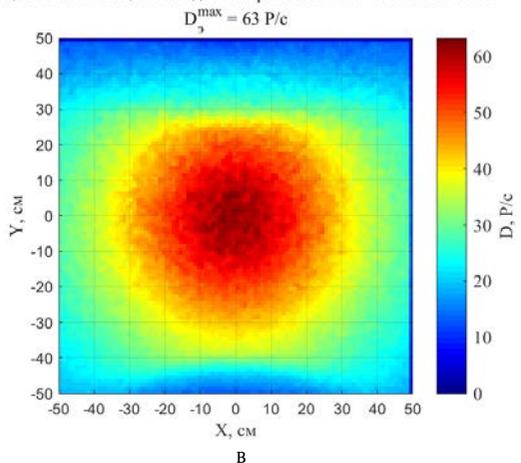
Мощность экспозиционной дозы на расстоянии 10 см от источника



Мощность экспозиционной дозы на расстоянии 20 см от источника



Мощность экспозиционной дозы на расстоянии 50 см от источника



Мощность экспозиционной дозы на расстоянии 100 см от источника

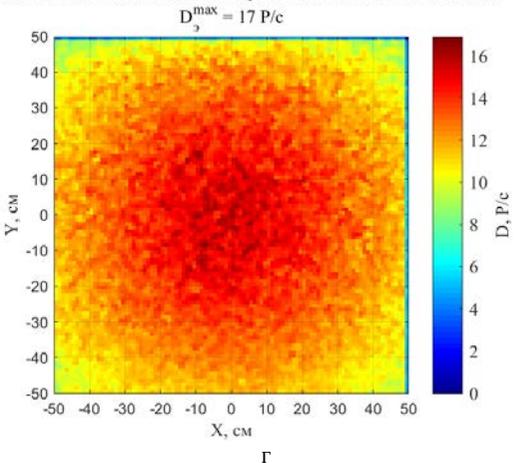


Рис. 8. Распределение мощности экспозиционной дозы от ГУ СИ в зависимости от расстояния от торца ЗРИ: а – 10 см; б – 20 см; в – 50 см; г – 100 см

Мощность экспозиционной дозы на расстоянии 22.5 см от источника

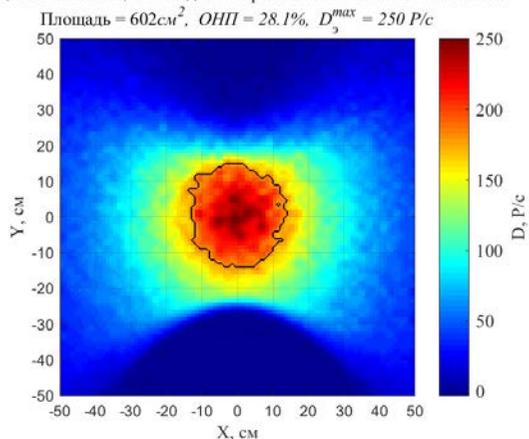


Рис. 9. Распределение мощности экспозиционной дозы от ГУ СИ на расстоянии 22.5 см от торца ЗРИ

превышает 180 P/c, указаны площади данных областей и величина неоднородности в них. Из рис. 8, а, б видно, что вышеуказанные требования выполняются в диапазоне от 20 до 30 см. Более подробные расчеты

показали, что на расстоянии 22,5 см от торца ЗРИ мощность экспозиционной дозы на площади 602см^2 будет не менее 180 P/c с неоднородностью поля 28,1 % (рис. 9).

Проведено расчетно-теоретическое обоснование радиационной безопасности разрабатываемой ГУ СИ в исходном и рабочем положениях.

В исходном положении на расстоянии 100 см от составных частей мощность эквивалентной дозы составила 11,2 мкЗв/ч над пробкой и 9,4 мкЗв/ч от боковой стенки защитного контейнера, что удовлетворяет требованиям п. 3.7.6 ОСПОРБ 99/2010 для стационарных установок, действие которых основано на использовании ЗРИ.

Для рабочего положения ГУ СИ рассчитана карта полей. Оценена кратность ослабления γ -излучения в бетонной стене толщиной 100 см, определено, что данная толщина не удовлетворяет требованиям НРБ-99/2009. Для безопасности персонала группы А толщина стены должна составлять не менее 150 см.

Представлены результаты расчета пространственного распределения мощности экспозиционной дозы в предполагаемой области облучения ЭКБ.

1. Бабичев А. П., Братковский А. М. и др. Физические величины. Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1991. С. 1232.

2. Житник А. К., Донской Е. Н., Огнев С. П. и др. Методика С-007 решения методом Монте-Карло связанных линейных уравнений переноса нейтронов, гамма-квантов, электронов и позитронов // ВАНТ. Сер.: Математическое моделирование физических процессов. 2011. Вып. 1. С. 17–25.

3. Сертификат-разрешение на конструкцию транспортного упаковочного комплекта УКТІВ-160000/4300 и перевозку в нем радиоактивных веществ. RUS/5330/B(U)-96T (Rev. 3). С. 7.

4. Машкович В. П. Защита от ионизирующих излучений: Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1982. С. 296.